

Title	中性子星物質における 3P_2 pairing effect(「多体系量子論と天体」研究会報告,基研研究会報告)
Author(s)	玉垣, 良三
Citation	物性研究 (1971), 15(6): D32-D34
Issue Date	1971-03-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/88206
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

中性子星物質における 3P_2 pairing effect

基 研 玉 垣 良 三

ここで報告するのは、高塚氏との共同研究で、最近「素粒子論研究」に発表したので¹⁾、要点のみをのべる。

中性子星の密度が nuclear matter の normal density ($\rho = 3.2 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$) 程度にもなると、“hard” core の為、 1S_0 pairing による超流動性は消える。中性子の密度が、 $\rho \gtrsim 2 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$ ($E_F \gtrsim 50 \text{ MeV}$) になると、核力の特徴の一つである triplet odd (spin $S=1$, 軌道角運動量 $l = \text{odd}$) の強い LS 力のため、 3P_2 pairing による超流動性が発現する²⁾。池内氏の分類に対応させると、region II と region III の境界のあたりの密度のところでおこる。

興味があるのは、 3P_2 pairing は $s=1$, $l=1$ が $j=2$ を作る角運動量の揃う対相関であり従来の 1S_0 pairing と対照的であり、高密度系の多体論として一つの新しい問題を提供していて、これからどのような物性がもたらされるかという点である。このような一般の pairing correlation を扱う方法は、ref. 2) で展開された。Gap 方程式は、 $j=2$ の成分 $m_j = -2 \sim 2$ までの成分に対して、coupled integral equation になるが、今まではこの中での特殊な解しか求められていなかった^{2), 3)}。ここでは、gap 方程式の一般解を求めることを出来るだけ現実性のある核力を用いて計算した。

Gap 方程式の 解は、次の 5 つが可能ですべてであることがわかった：

角度依存性			
↓			
Sol. 1	($m_j = \pm 2$ のみ)	; θ のみ	} 軸対称
Sol. 2	($m_j = 0$ のみ)	; θ のみ	
Sol. 3	($m_j = 0, \pm 2$ が couple)	; $\theta, \cos 2\varphi, \sin 2\varphi$	} 非 軸対称
Sol. 4	($m_j = \pm 1$ のみ)	; "	
Sol. 5	(すべての m_j が couple)	; $\cos \varphi, \sin \varphi$ も入る	

Energy gap が軸対称という条件をおくと、Sol. 1 と Sol. 2 のみが許され、今まで扱ってきた simple solutions に対応する。軸対称性の条件をはずす

と, Sol.s. 3~5 が出るが, 最も一般的な解 Sol. 5 は, $m_j = 0$ と $m_j = \pm 2$ が φ -dependence を通じて couple した Sol. 3 に $m_j = \pm 1$ 成分が僅かに混つたものになる。

これらの解のうちどれが ground state であるかをみるために, energy shift ΔE を比較してみた。Sol. 1 の $\Delta E_{m_j=\pm 2}$ に対する比でみてみると, 大まかに言つて 2 つの class (A と B) に分れている:

$$\left. \begin{array}{ll} \Delta E_{m_j=\pm 1} / \Delta E_{m_j=\pm 2} = 1.000 & \rightarrow \text{class(A); Sol. 1 と 4} \\ \Delta E_{m_j=0} / \quad \quad \quad = 1.027 \\ \Delta E_{m_j=0, \pm 2} / \quad \quad = 1.032 \\ \Delta E_{m_j=\text{all}} / \quad \quad \quad = 1.032 \end{array} \right\} \rightarrow \text{class(B); Sol. 2, 3, 5}$$

Total energy shift は, 解で差が出るにしても % の程度である。混在する成分 m_j の個数が増すと, それに応じて ΔE がますます思えるが, 実際は各々の成分の gap の値が小さくなることで減殺され, 結果として僅かな差になる。 ΔE が僅かだが最大であること及び gap 方程式の一般解であることから, pure neutron matter では Sol. 5 が基底状態を表すとみてよい。しかし, neutron matter の環境次第では, ΔE の差が僅かだから, 他の解が実現しないとは言い切れないだろう。

計算結果より言えることとして尚次の諸点がある。

(1) Gap が非等方的であるが, 一般解では, 扁平的な Sol. 1 と扁長的な Sol. 2 が重なり θ 方向の変化はゆるくなるが, φ 方向の変化は割と大きい。Sol. 3 と Sol. 5 では θ, φ 双方について, Gap = 0 の点 (node) はない。Gap が nodeless だと, 比熱の温度依存性は 1S_0 pairing と定性的に変らない。このような Spin 1 で角運動量を大きく組む pairing から出てくる物性として何があるかは, 今後の問題である。

(2) 核力との関係では, 3P_2 状態で強い斥力の がある場合には, $E_F \gtrsim 150 \text{ MeV}$ ($\rho \gtrsim 1 \times 10^{15} \text{ g cm}^{-3}$) では 3P_2 の超流動性は消え, 3P_2 で斥力の 芯がないときはもつと高密度でも消えない。この点をはつきりさせるには, 高エネルギーでの核子-核子散乱の分析をもつとやる必要がある。

(3) 3P_2 と同様, 高エネルギーで引力的な散乱位相差を示す 1D_2 相互作用

が, super - stateを作りうるかについて, 計算の結果は, 否定的であつた。だから, 高密度領域では 3P_2 pairing による超流動性を考えればよい。

(4) 中性子星の中での neutron matter は, $\rho \lesssim 1 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$ の 1S_0 superfluid region, $\rho \cong (1 \sim 2) \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$ の多分 normal fluid の region, $\rho \cong 2 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3} \sim \rho_{\text{max}}$ の 3P_2 superfluid region, $\rho \gtrsim \rho_{\text{max}}$ (これは核力による) の normal fluid の region というように異つた相の多層構造をもっている*。夫々の相が星のどの辺を占めるかは, 星の質量で密度分布が大きく変ることを考慮に入れねばならない。

References

- 1) 高塚, 玉垣, 素粒子論研究 42 (1970), 177及びpreprint.
- 2) R. Tamagaki, Prog.Theov.Phys. 44 (1970), 905.
- 3) Hoffberg, Glassgold., Richardson and Ruderman, Phys. Rev. Letters 24 (1970), 775.
- 4) Ikeuchi, Nagata, Mizutani and Nakazawa, Preprint.

*) [補 足] 3P_2 superfluidity が存在しうる maximum density ρ_{max} は, neutron の single particle energy の効果, 近似的には有効質量の高密度に移るさいの減少のため⁴⁾, potential のちがいよりもまずこの効果で, $\rho_{\text{max}} \cong (5 \sim 6) \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$ になるようである。